

VŠB-Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže



**TESTOVÁNÍ ŘEZNÉ GEOMETRIE NÁSTROJŮ NA OBRÁBĚNÍ
POLYMERŮ**

Cutting Tool Geometry Testing for Polymer Machining

Student:

Bc.Simona Kocifajová

Vedoucí diplomové práce:

doc.Ing. Robert Čep, Ph.D

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Simona Kocifajová**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Téma: **Testování řezné geometrie nástrojů na obrábění polymeru**
Cutting Tool Geometry Testing for Polymer Machining

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky.
2. Nejčastěji používané polymery.
3. Řezné podmínky pro nástroje na obrábění polymerů.
4. Stanovení řezné geometrie zkušebních nástrojů.
5. Praktická část.
6. Technickoekonomické zhodnocení a závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

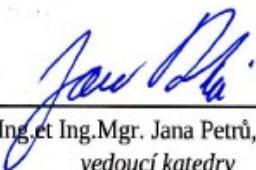
- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 1. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 2. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008, s. 150. ISBN 978-80-248-1822-1.
- [3] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [4] ZAJAC, Jozef; JURKO, Jozef; ČEP, Robert. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [5] VASILKO, Karol; HAVRILA, Michal; MARCINCIN-NOVÁK, Jozef; MÁDL, Jan; ZAJAC, Jozef. *Top trendy v obrábění, III. část – Technologie obrábění*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014


Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 22.5.2014

.....*Dořpajová S.*.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byla seznámena s tím, že na mojí bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užití své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 22.5.2014

Kocifajová S.
.....

podpis

Bc.Simona Kocifajová
Dolní 3014/82
70030 Ostrava

Anotace Bakalářské práce

Bc.KOCIFAJOVÁ, S. Testování řezné geometrie nástrojů na obrábění polymerů: Diplomová práce: Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava: Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2014, 45.s. Vedoucí práce: doc.Ing. Robert Čep, Ph.D

Diplomová práce se zabývá testováním řezné geometrie nástrojů, vhodných pro obrábění neželezných materiálů. První část je zaměřená na rozdělení polymeru a charakteristiku obráběného materiálu. Následně jsou stanovené řezné podmínky pro vybrané nástroje. Dále následuje praktická část, ve které je proveden test vybraných fréz v elektroizolačním materiálu. Nakonec je provedeno technickoeconomické zhodnocení a závěr.

Annotation of Bachelor Thesis

This thesis deals with the testing of the cutting tool geometry suitable for machining non-ferrous materials. The first part is focused on polymer distribution and the characteristics of the workpiece material. Subsequently, the set cutting conditions for the selected tool. This is followed by a practical part, which is made of selected test cutters in electrical insulating material. Finally, conducted technical and economic evaluation and conclusion

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ	7
1. ÚVOD.....	9
2. NEJČASTĚJI POUŽÍVANÉ POLYMERY	11
2.1 ROZDĚLĚNÍ POLYMERŮ	12
2.1.1 PODLE CHOVÁNÍ PŘI PŮSOBENÍ TEPLA.....	13
2.1.2 PODLE USPOŘÁDÁNÍ MAKROMOLEKUL	14
2.1.3 PODLE DRUHU PŘÍŠAD.....	15
2.2 ELEKTROIZOLANTY	16
2.2.1 VLASTNOSTI ELEKTROIZOLAČNÍCH MATERIÁLŮ	18
3. ŘEZNÉ PODMÍNKY PRO NÁSTROJE NA OBRÁBĚNÍ POLYMERŮ	19
3.1 STANOVENÍ ŘEZNÝCH PODMÍNEK	21
3.2 VÝPOČET ŘEZNÝCH PODMÍNEK.....	22
3.3 DEFINOVÁNÍ STRUKTURY MATERIÁLU	23
4. STANOVENÍ ŘEZNÉ GEOMETRIE ZKUŠEBNÍCH NÁSTROJŮ	24
4.1 TESTOVANÉ ŘEZNÉ NÁSTROJE	25
4.1.1 DVOUBŘITÁ VÁLCOVÁ FRÉZA BEZ POVLAKU OD FIRMY WNT	26
4.1.2 DVOUBŘITÁ VÁLCOVÁ FRÉZA S DIAMANTOVÝM POVLAKEM OD FIRMY ARNO	27
4.1.3 DVOUBŘITÁ VÁLCOVÁ FRÉZA S ROVNÝMI BŘITY OD FIRMY HOFFMANN GROUP	28
4.2 OBRÁBĚNÝ MATERIÁL	29
4.3 OBRÁBĚCÍ STROJ	30
5. PRAKTICKÁ ČÁST	31
6. TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	40
ZÁVĚR	42
POUŽITÉ ZDROJE	43
SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ	45

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

Značení	Význam	Jednotka
ČSN	Česká státní norma	-
D	Průměr nástroje	[mm]
EN	Evropská norma	-
f	Posuv na otáčku	[mm]
f_z	Posuv na zub	[mm]
z	Počet zubů	-
n	otáčky	[min ⁻¹]
v_c	Řezná rychlost	[m/min]
PKD	Polykrystalická diamant	-
H	Vodík	-
C	Uhlík	-
N	Dusík	-
O	Kyslík	-
F	Fluor	-
S	Síra	-
Cl	Chlor	-
PP	Polypropylen	-
PE	Polyethylen	-
PA	Polyamid	-
PS	Polystyren	-

PVC	Polyvinylchlorid	-
CNC	Computer numerical control	-
Rm	Měrný řezný odpor	MPa
RO	Rychlořezná ocel	-
SK	Slynutý karbid	-
Tg	Teplota skelného přechodu	C°

1. ÚVOD

V současné době se na trhu pohybuje několik tisíc různých druhů plastů, a však v technické praxi jsou aplikovány jen desítky z nich. Z celkového objemu světové produkce plastů představuje skoro 80 % jen šest druhů plastů a 70 % výroby jen tři druhy, a to polyolefiny, styrenové hmoty a polyvinylchlorid. Sortiment termoplastů se neustále zvětšuje, a to v podstatě dvěma směry, kdy jednou cestou je výroba stále nových polymerů a druhou cestou je modifikace dosavadních polymerů. Zvyšováním počtu materiálů má své výhody pro konstrukci a výrobu dílů z plastů, aniž by došlo k výrazné změně ceny, na druhé straně to klade zvýšené nároky na znalosti konstruktérů.[4]

S volbou vhodného materiálu je zapotřebí vzít v úvahu, kromě ceny, vlastnosti a zpracovatelnost daného materiálu, který má vliv na fyzikální a mechanické vlastnosti konečného výrobku, také i na technologické podmínky, konstrukční řešení nástroje a volbu stroje. Takové to vlastnosti plastů (polymerů) jsou dány jejich chemickou a fyzikální strukturou, které však do značné míry mohou být ovlivněny způsobem výroby a jejím zpracováním.

Mezi typické vlastnosti polymerních materiálu patří velmi malá hustota, tvrdost, pevnost v tahu (s výjimkou polymerních vláken) a malá tepelná odolnost. Polymerní materiály jsou většinou elektrické izolanty.[6]

V technické praxi se můžeme setkat s mnoha druhy polymerních materiálu, ale i také s materiály vyztužené skleněnými nebo uhlíkovými vlákny. Ačkoliv je problematika obrábění polymerů vyztužených skleněnými vlákny velmi aktuální, věnuje se tomu to směru velmi málo odborníků i výrobních firem. Přitom elektroizolační materiály mají velké uplatnění nejen v technické praxi a v leteckém průmyslu, ale také se s nimi můžeme setkat v lékařství. [2]

Celá diplomová práce bude probíhat ve firmě SLAVÍK-Technické plasty, která působí na trhu už od roku 2001. Od začátku působení na trhu se firma zabývá prodejem širokého sortimentu polotovarů z plastů včetně přířezu.

Od roku 2004 byla rozšířena výroba na třískové obrábění, svařování a ohýbání. V dnešní době je firma plně vybavená dvěma CNC frézujícími centry ve 3-osách, dvěma CNC frézujícími centry v 5-osách a jedním CNC soustruhem, který je vybaven poháněnými nástroji. Dále se firma zabývá výrobou hliníkových forem, odlévání polyuretanu a gravitováním.



Obr. 1 Výrobky z firmy SLAVÍK-Technické plasty

Protože se firma zabývá z velké části obrábění plastů, a zmenší části obrábění elektroizolačních materiálů, rozhodla jsem provést testování nástrojů pro obrábění tohoto typu materiálu. U plastů vyztužených skelněným vláknem je důležitým hlediskem směr vláken ke směru obrábění. To má za následek, že při nevhodně zvoleném směru vláken a posuvu nástroje dochází k vytrhávání a praskání základní matrice materiálu okolo vláken.

Výrobci fréz pro obrábění materiálu vyztuženého skleněnými vlákny velice často doporučují nástroje vyráběné ze slinutého karbidu opatřené otěruvzdornými tenkými vrstvami. Tyto vrstvy mohou být jak na bázi nitridů kovů, tak i progresivními diamantovými vrstvami.

Testovací nástroje budou vybrány od tří různých výrobců, a však vhodné pro obrábění neželezných kovů a materiálu vyztužených skleněnými vlákny. Následně se stanoví řezné podmínky pro jednotlivé frézy a provede se test, jak se daná fréza chová v obráběném materiálu a zda je pro daný materiál vhodná. Na závěr bude provedené technicko ekonomické zhodnocení a vyhodnocení tesu.

2. NEJČASTĚJI POUŽÍVANÉ POLYMERY

V dnešní době se mnoho strojních součástí nahrazuje plastovým materiálem nebo materiály vyztužené skelnými vlákny. Na jednu stranu se stávají velkou konkurencí pro kovové materiály, na druhou stranu umožňují zcela nová řešení problematiky v konstrukci součástí.

Polymery jako takové, se skládají z chemických prvků vyznačených v tabulce Tab.1, kde tím nejhlavnějším prvkem je uhlík, jehož schopnost vytvářet dlouhé řetězce (případně v kombinaci s jinými prvky) je podstatou vzniku sloučenin makromolekulárního typu. Je tady vždy v makromolekulárních látkách obsažen. Podobnou vlastnost vytvářet řetězce má ještě křemík. Jeho makromolekulární sloučeniny jsou podstatně méně početné než je tomu v případě uhlíku, přesto však jsou důležité a velmi rozšířené (silikonové oleje, kaučuky aj.) Atomy křemíku jsou v makromolekulárních sloučeninách vázány prostřednictvím atomů kyslíku. [7]

Tab. 1 Převažující prvky v plastech

Převažující prvky v plastech			
PRVEK	SYMBOL	MOCENSTVÍ	ATOM.HMOTNOST
Vodík	H	1	1,01
Uhlík	C	4	12,01
Dusík	N	3	14,01
Kyslík	O	2	16,00
Fluor	F	1	19,00
Síra	S	2	32,07
Chlor	Cl	1	35,46

2.1 ROZDĚLĚNÍ POLYMERŮ

Polymery můžeme dělit podle několika kritérií, například-podle chování za působení tepla, podle uspořádání makromolekul nebo podle druhu přísad. Takovéto základní rozdělení polymeru můžeme vidět v diagramu 1.

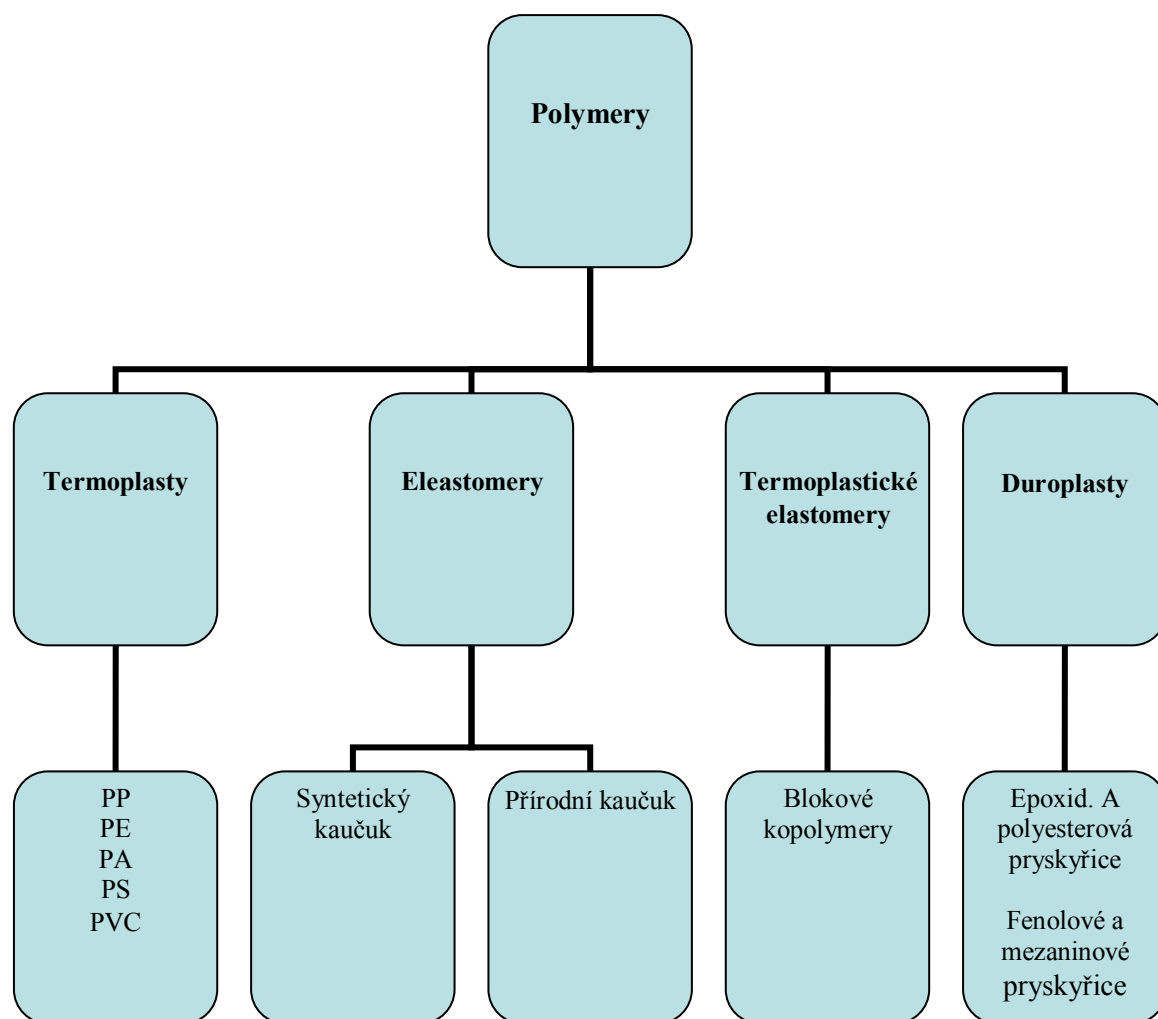


Diagram. 1 Základní rozdělení polymerů

2.1.1 PODLE CHOVÁNÍ PŘI PŮSOBENÍ TEPLA

Termoplasty - jedná se o polymerní materiály, které při zahřívání přecházejí do plastického stavu, kdy je lze snadno tvářet a zpracovávat různými technologiemi.

Do tuhého stavu přejdou ochlazením pod teplotu tání T_m (semikrystalické plasty), resp. teplotu viskózního toku T_f (amorfní plasty). Protože při zahřívání nedochází ke změnám chemické struktury, lze proces měknutí a následného tuhnutí opakovat teoreticky bez omezení. Do skupiny termoplastů řadíme materiály jako jsou: polyethylen (PE), polypropylen (PP), polystyren (PS), polyvinylchlorid (PVC), polyamid (PA), atd. [4]

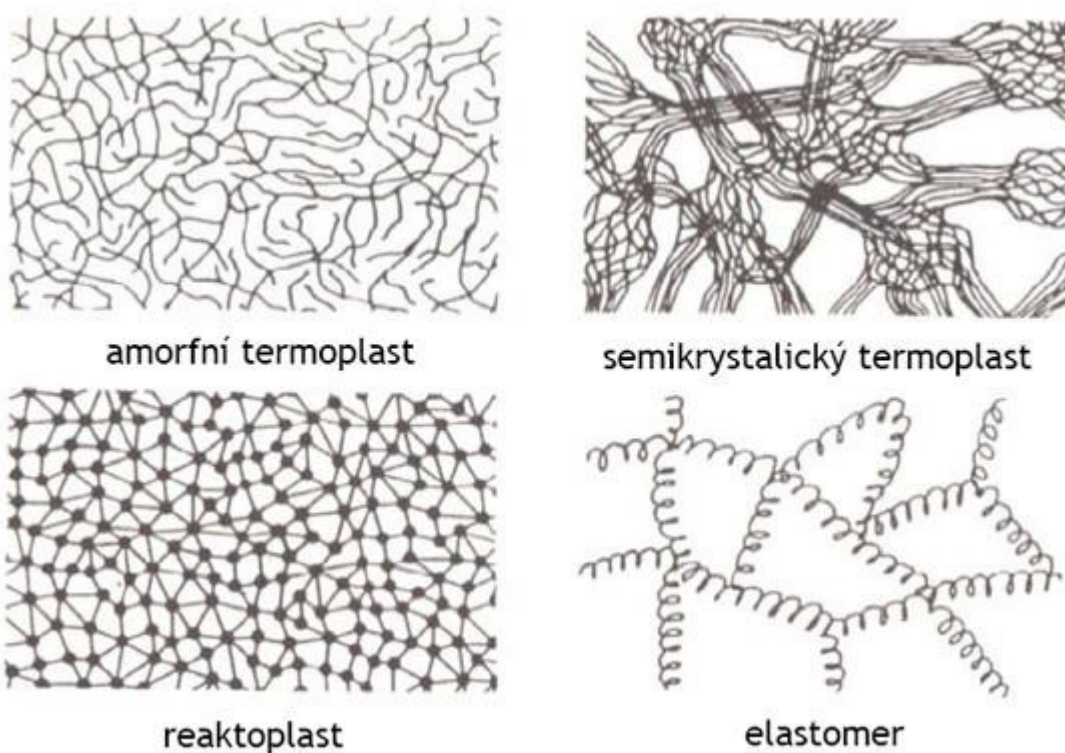
Reaktoplasty - jedná se o polymerní materiály, dříve nazývané termosety, které rovněž v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, avšak jen omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci – prostorovému zesíťování struktury, k tzv. vytvrzování. Ochlazování reaktoplastů probíhá mimo nástroj, neboť zajištění rychlého ohřevu formy pro vytvrzení a následné rychlé ochlazení materiálu by bylo obtížné. Tento děj je nevratný a vytvrzené plasty nelze roztavit ani rozpustit, dalším zahříváním dojde k rozkladu hmoty (degradaci). Patří sem fenolformaldehydové hmoty, epoxidové pryskyřice, polyesterové hmoty, apod. [4]

Kaučuky, pryže a elastomery - jedná se o polymerní materiály, které rovněž v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, avšak jen omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci – prostorovému zesíťování struktury, probíhá tzv. vulkanizace. [4]

2.1.2 PODLE USPOŘÁDÁNÍ MAKROMOLEKUL

Amorfní plasty - makromolekuly zaujímají zcela nahodilou pozici. Patří sem např. PS, PMMA, PC, apod. Jsou charakteristické tvrdostí, křehkostí, vysokou pevností a jsou dle propustnosti světla čiré (92% propustnosti světla), transparentní anebo průhledné (60% propustnosti světla). [4]

Krystalické (semikrystalické) plasty – makromolekuly vykazují určitý stupeň uspořádanosti. Ten se označuje jako stupeň krystalinity (pohybuje se od 40 do 90 %). Nemůže nikdy dosáhnout 100 %, proto se krystalické plasty označují jako semikrystalické. Patří sem PE, PP, PA, PTFE, POM, atd. Jsou mléčně zakalené a jsou charakterizovány houževnatostí materiálu, pevnost a modul pružnosti roste se stupněm krystalinity. [4]



Obr. 2 Vzhled struktury polymeru

2.1.3 PODLE DRUHU PŘÍRAD

Neplněné plasty - neplněný plast je takový plast, u kterého množství přísad neovlivňuje vlastnosti polymerní matrice. [4]

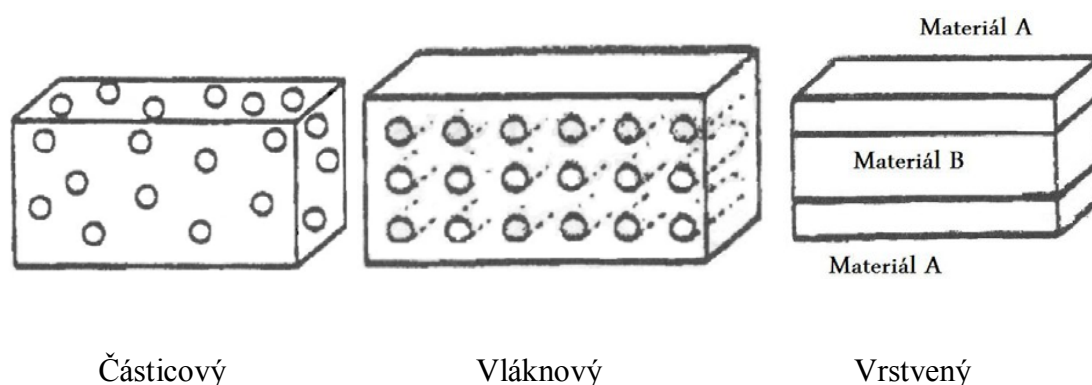
Plněné plasty - plnivo ovlivňuje fyzikální a mechanické vlastnosti plastu. Makromolekulární látka plní funkci pojiva a určuje základní fyzikální a mechanické vlastnosti hmoty. Přísadou mohou být plniva, stabilizátory, maziva, barviva, změkčovadla, iniciátory, nadouvadla, tvrdidla, retardéry hoření, apod. [4]

2.2 ELEKTROIZOLANTY

Elektroizolační materiály, nebo-li elektroizolanty jsou označovány za kompozitní materiály. Při jejich použití se očekává elektrická odolnost, elektrická pevnost, odolnost proti plazivým proudům a ostatní vlastností kladené na elektroizolanty. Dále se využívá jejich elektroizolačních schopností ve vlhkém prostředí, za zvýšených teplot a dobrých mechanických vlastností. [11,12]

Kompozitními materiály nazýváme ty, které jsou tvořeny minimálně dvěma fyzikálně a chemicky odlišnými složkami (komponentami). Kompozity mají poté ve srovnání s jednotlivými komponentami výrazně lepší vlastnosti. Obecně kompozity mohou být typu kov-kov, keramika-kov, keramika-polymer, keramika-keramika a polymer-polymer. [11,12]

V současné době je dostupná velká škála kompozitních elektroizolačních materiálů odlišujících se pojivem (pryskyřicí), typem a charakterem výztuží (typ vláken, tkaniny, rohože, rouna) a dále způsobem výroby (laminace, tažení, navíjení, odstředivé lití, atd.). Je nespočet možností, jak lze jednotlivé složky v kompozitu uspořádat. Zatímco pojiva mohou být v daném objemu materiálu plynule rozmístěná, výztuž vytváří geometricky ohraničenou oblast. Na Obr. 3 můžeme vidět rozdělení kompozitů dle uspořádání výztuže. [11,12]



Obr. 3 Druhy kompozitů dle uspořádání výztuže[11]

Dalším kritériem pro dělení kompozitu je orientace a délka vyztužujících vláken:

JEDNOSMĚRNÉ- vlákna jsou orientovaná v jednom směru

- Krátkovlákné- poměr délka / průměr ; $L/D < 100$
- Dlouhovlákné- $L/D > 100$ nebo kontinuální vlákna, vlákna s délkou rovnou rozměrům celého dílce.

MNOHOSMĚRNÉ- vlákna jsou náhodně nebo pravidelně orientována dvěma či více směry.

- Krátkovlákné $L/D < 100$
- Dlouhovlákné $L/D > 100$

Elektroizolační materiály v podobě listů, desek a tyčí tvoří dvě základní složky. Tvrdší, pevnější nespojitá složka se označuje výztuž. Výztuž (plnivo) je v podobě souvislých pásů tkanin, vláken či papírů. Používají se bavlněné a skelné tkaniny či celulósový papír. Spojitá a obvykle poddajná složka zastávající funkci pojiva výztuže se nazývá matrice, jsou to různé druhy pryskyřic (fenolická, epoxidová, polyamidová). Úkolem pojiva je jednak chránit výztuž před mechanickým či chemickým poškozením, tak i udržovat v dané poloze vůči namáhání a umožnit přenos vnějších napětí do výztuže.

Nevyztužená pryskyřice má nízkou hustotu a je snadno zpracovatelná. Má dobrou stabilitu proti působení širokého spektra prostředí a chemikálií. Nevýhodou je nízký modul pružnosti, nízká pevnost a křehkost. Výztuž sice má požadovanou tuhost a pevnost, je však velmi křehká a náchylná k poškození v agresivním prostředí. Navíc je velmi těžké udržet výztuž v požadovaném tvaru. [11,12]

2.2.1 VLASTNOSTI ELEKROIZOLAČNÍCH MATERIÁLŮ

Kompozitní elektroizolační materiály mají před homogenními řadu výhod. Kombinací jednotlivých druhů výztuží a matric lze získat nepřeberné množství materiálů s naprosto odlišnými mechanickými a fyzikálními vlastnostmi. Často se tak podaří dosáhnout lepších výsledných vlastností, než by odpovídal součtu vlastností jednotlivých komponent. Toto je označováno jako synergie. Na výsledné vlastnosti kompozitu má také vliv geometrie vyztužení, jež je specifikována tvarem, velikostí a orientací výztuže. Větší obsah pryskyřice zvyšuje odolnost proti vlhkosti a stálost elektroizolačních vlastností. Přitom však zvyšuje jejich křehkost a zhoršuje mechanické vlastnosti, s výjimkou pevnosti ve smyku a odolnosti proti štípání. [8,13,14]

Základní vlastnosti elektroizolačních kompozitních materiálů:

- elektrická nevodivost,
- nulový útlum elektromagnetických vln,
- nízká tepelná vodivost,
- nízká měrná hmotnost,
- dobré mechanické vlastnosti,
- korozivzdornost,
- snadná montáž a údržba.

Díky elektrické nevodivosti jsou tyto materiály ideálními konstrukčními prvky k výrobě zařízení pracujících v blízkosti vedení elektrické energie, v silnoproudé elektrotechnice a radiokomunikací. [13]

3. ŘEZNÉ PODMÍNKY PRO NÁSTROJE NA OBRÁBĚNÍ POLYMERŮ

U volby nástroje pro obrábění polymeru je důležité si uvědomit, jaký materiál obrábíme, jeho vlastnosti a způsob jakým chceme materiál obrobit. Nečastější dělení polymeru se provádí řezáním na pile, frézováním a soustružením. Dále je důležité zvolit vhodné řezné podmínky, které mají vliv na kvalitu obrobeného materiálu. Nesprávně zvolené řezné podmínky mohou způsobit odštipování materiálu při obrábění, nebo z povrchu obrobku mohou vystupovat chuchvalce vláken nebo a to v nejhorších případech může dojít i k zatavení nástroje do materiálu.

Základní vlastnosti pro obrábění polymeru:

- Větší tepelná roztažnost, která způsobí změnu rozměru
- Některé plasty mají velkou přilnavost. Ta působí opotřebení nástroje adhezním otěrem
- Díky malé tepelné vodivosti je nástroj více tepelně namáhán a může docházet k jeho rychlému opotřebení
- Mají menší řezný odpor, proto můžeme zvolit větší úhel čela a hřbetu
- U vyztužených plastů dochází k abrazivnímu otěru
- Tvoření třísky je ovlivněno strukturou materiálu
- Je nutné mít dokonale ostré nástroje
- u vyztužených plastů je měrný řezný odpor shodný s hodnotami udávanými u ocelí střední pevnosti ($R_m = 600$ až 700 MPa);
- u vyztužených plastů dochází k podobné tříске jako u litiny
- u anizotropních plastů hrozí vyštipování materiálu
- musíme klást velký důraz na teplotu obrábění termoplasty- měknou, reaktoplast- uhelnatí
- u některých plastů může dojít k bobtnání při styku s chladicí kapalinou
- plasty jsou náchylné na některé chemikálie [3]

V následujících tabulkách Tab.2 a Tab.3 můžeme vidět přehled řezných podmínek pro nástroje na obrábění plastů a materiálu s vyztuženým a vrstveným vláknem.

Tab. 2 Přehled řezných podmínek pro obrábění plastů[3]

Operace	Nástroj	Řezná rychlost	Posuv
Soustružení	RO	max. 300 [m/min ⁻¹]	max. 0,3 [mm/ot]
Soustružení	SK	max. 800 [m/min ⁻¹]	max. 0,3 [mm/ot]
Frézování	RO	120 až 200 [m/min ⁻¹]	0,3 až 0,8 [mm/ot]
Frézování	SK	160 až 270 [m/min ⁻¹]	0,2 až 0,8 [mm/ot]

Tab. 3 Přehled řezných podmínek pro obrábění vyztužených a vrstvených plastů[3]

Operace	Nástroj	Řezná rychlost	Posuv
Soustružení	RO	450 [m/min ⁻¹]	0,1 až 1 [mm/ot]
Soustružení	SK	700 [m/min ⁻¹]	0,2 až 0,6 [mm/ot]
Frézování-1	RO	max. 200 [m/min ⁻¹] ⁻¹	max. 0,03 mm na zub
Frézování-2	RO	300 až 350 [m/min ⁻¹]	0,1 až 0,2 [mm/ot]
Frézování-1	SK	250 až 300 [m/min ⁻¹]	0,2 až 0,5 [mm/ot]
Frézování-2	SK	400 až 450 [m/min ⁻¹]	0,1 až 0,2 [mm/ot]

Pro obrábění materiálů vyztužených abrazivními skelnými vlákny jsou vhodné jemnozrnné slinuté karbidy. Mají vyšší tvrdost, díky které lépe odolávají opotřebení.

Chceme-li zvýšit trvanlivost nástroje, je lepší použít nástroje s povlakem na bázi karbidů, nitridů, oxidů nebo diamantu. Můžeme také požívat nástroje z rychlořezné oceli, ale je třeba počítat s nižší trvanlivostí bříty. Důvodem je nižší hodnota tvrdosti a tím menší schopnost odolávat abrazivnímu opotřebení.

Při používání nástrojů z polykrystalického diamantu (PKD) můžeme očekávat nejlepší výsledky. Jejich vysoká tvrdost a dobrá tepelná odolnost zaručuje rychlý odvod tepla z místa řezu, tím dosáhneme vysoké kvality obrobené plochy a dobrou trvanlivost bříty. Díky ostrému bříty, který vydrží dlouhou dobu obrábět, je eliminována tvorba delaminace a lámání vláken. U vhodně nastavených technologických parametrů obrábění, lze s nástroji z PKD zvýšit produktivitu až o 50% až 100%.[15]

3.1 STANOVENÍ ŘEZNÝCH PODMÍNEK

Řezné podmínky se stanoví podle druhu práce, druhu použité frézy a požadované jakosti obrobených ploch. Při hrubování se volí co největší posuv s přihlédnutím k hloubce odebírané vrstvy, tuhosti obrobku a výkonu ne vřetenu frézky.[9]

Při volbě řezných podmínek je třeba dodržet tyto zásady:

- řezné podmínky musí zajistit splnění kvalitních a kvantitativních požadavků na obráběný díl.
- Velikost průřezu třísky musí být v souladu s tuhostí soustavy
- Složky řezného odporu nesmí překročit maximálně přípustné síly v jednotlivých směrech
- Výkon řezání musí být menší než užitečný výkon elektromotoru stroje
- Nesmí být překročena řezivost nástroje
- Musí být dodržena minimální přípustná výrobnost stroje za časovou jednotku
- Řezné parametry musí být v mezích přípustných intervalů
- Při obrábění na čisto nesmí být překročena limitní hodnota posuvu, dána požadovanou drsností povrchu. [8]

3.2 VÝPOČET ŘEZNÝCH PODMÍNEK

Výpočet otáček: $n = \frac{v_c \cdot 1000}{D \cdot \pi} \text{ [min}^{-1}\text{]}$ D-průměr frézy v mm

Výpočet řezné rychlosti $v_c = \frac{D \cdot \pi \cdot n}{1000} \text{ [m/min]}$ z-počet zubů

Výpočet posuvu na otáčku $f = f_z \cdot z \text{ [mm]}$ f_z -posuv na zub v mm.

[1]

Tab. 4 Stanovené řezné podmínky

	WNT	ARNO	HOFMAN
Výpočet otáček:	7 600 [min ⁻¹]	13 000 [min ⁻¹]	13 000 [min ⁻¹]
Výpočet řezné rychlosti	120 [m/min]	200 [m/min]	200 [m/min]
Výpočet posuvu na otáčku	0,032[mm]	0,08[mm]	0,04[mm]

3.3 DEFINOVÁNÍ STRUKTURY MATERIÁLU

Obráběné elektroizolační kompozitní materiály (tvořené různými druhy plniv a pojiv) jsou typické svojí anizotropií. Je to díky směrové orientace výztuží. Vlastnosti materiálu se výrazně liší a to ve směru a napříč výztuže. Velký vliv na obráběný materiál má také plnivo, které špatně odvádí vzniklé teplo a zatepluje funkční plochy řezného nástroje-zejména čelo.

Další komplikaci při obrábění tohoto druhu materiálu je nízká tepelná odolnost při vyšších teplotách (ve srovnání s kovy) a tak nejsou kompozitní materiály stálé. Je nutné volit takové řezné podmínky, aby nedošlo k překročení k takzvané kritické teploty. Při této teplotě dochází k degradaci pryskyřičné matrici a na obrobeném povrchu se začnou objevovat natavené či spálené oblasti a zároveň dochází ke ztrátě funkce pojiva. To má za úkol ochránit výztuže pojiva před poškozením a přenosem napětí působící na materiál do výztuže. Za maximální kritickou teplotu při obrábění lze označit teplotu skelného přechodu T_g daného polymerního pojiva (např. Pro epoxidovou pryskyřici $T_g=130^{\circ}\text{C}$). Velikosti řezných a posunových rychlostí limitující vznik kritické teploty při obrábění za daných technologických podmínek nejsou jasně definovány. Záleží na zkušenostech a poznatcích technologa a obsluhy stroje, jehož teplota je ovlivňována mnoha faktory jako jsou např: stav stroje, rychlosti, velikost posuvu, použití procesních kapalin a další.

Několikanásobná tepelná roztažnost oproti kovovým materiálům musí být brána na zřetel jak při samotné volbě technologických podmínek obrábění, tak i při následné kontrole rozměrů a tvarové přesnosti. [4,6]

4. STANOVENÍ ŘEZNÉ GEOMETRIE ZKUŠEBNÍCH NÁSTROJŮ

Vzhledem k různé směrové orientaci vyztužujících vláken, vykazují mechanické vlastnosti daného materiálu silnou anizotropii (výrazně se liší ve směru podél vláken a napříč vláken), a vysoké hodnoty tahové pevnosti zvyšují intenzitu opotřebení řezného nástroje.[10]

Obráběné elektroizolační kompozitní materiály (tvořeny různými druhy plniv a pojiv) jsou typické svojí anizotropií. Je to díky různé směrové orientaci výztuží. Vlastnosti se výrazně liší a to ve směru a napříč výztuže. Dále také významně ovlivňuje vlastnosti obráběných materiálů plnivo, jelikož špatně odvádí vzniklé teplo a zalepuje funkční plochy řezného nástroje – to zejména čelo.

Další komplikací při obrábění těchto materiálů je nízká tepelná odolnost při vyšších teplotách (ve srovnání s kovy) a tak nejsou kompozitní materiály stálé. Je nutné volit takové řezné podmínky, aby nebyla překročena takzvaná kritická teplota. Při ní dochází k degradaci pryskyřičné matrice a na obrobeném povrchu se začnou objevovat natavené či spálené oblasti, dále dochází ke ztrátě funkce pojiva. Tou je ochrana výztuže před poškozením a přenos napětí působící na materiál do výztuže. Za maximální kritickou teplotu při obrábění lze označit teplotu skelného přechodu T_g daného polymerního pojiva (např. pro epoxidovou pryskyřici $T_g = 130\text{ °C}$). Velikosti řezných a posuvových rychlostí limitující vznik kritické teploty při obrábění za daných technologických podmínek nejsou jasně definovány. Záleží na zkušenostech a poznatcích technologa a obsluhy stroje, jelikož teplota je ovlivňována mnoha faktory (stav nástroje, velikosti posuvu, rychlosti, použití procesních kapalin a dalších). Několikanásobná tepelná roztažnost proti kovovým materiálům musí být brána na zřetel jak při samotné volbě technologických podmínek obrábění, tak i při následné kontrole rozměrů a tvarové přesnosti. [13,6]

4.1 TESTOVANÉ ŘEZNÉ NÁSTROJE

Proces obrábění je velmi složitý děj, který závisí na mnoha faktorech. Na fyzikálně – mechanických vlastnostech obráběného materiálu, druhu obráběcí operace, geometrie nástroje a také na řezných podmínkách. Opotřebení se projevuje ztrátou materiálu nástroje na čele nebo na hřbetě.

Vyztužující vlákna působí na nástroj silným abrazivním účinkem a jsou jedním z největších příčin intenzivního opotřebení břitu nástroje. Zejména obsah skelných vláken působí na intenzitu opotřebení. Z důvodu, že sklo v Mohsově stupnici tvrdosti sousedí se slinutými karbidy, karbidem křemíku a boru vyplývá, že všechny ostatní materiály (mimo diamantu) budou velmi intenzivně opotřebovány. Také nadměrné tepelné zatížení nástroje výrazně zvyšuje intenzitu opotřebení. Schopnost břitu odolávat abrazivnímu otěru je z větší části závislé na jeho tvrdosti. Řezný materiál obsahující hustou strukturu tvrdých částic odolává abrazivnímu opotřebení lépe, ovšem nemusí tak dobře odolávat jiným mechanismům opotřebení. [13,15,16]

Na základě těchto informací volím pro obrábění daného materiálu dvoubřitou válcovou frézu s diamantovým povlakem a rovnými břity. Tato fréza je vhodná pro obrábění materiálu obsahující uhlíkové nebo sklovité vlákna.

Pro srovnání jsou vybrány další dva druhy válcových fréz, avšak každá z nich má jiný úhel stoupání šroubovice.

4.1.1 DVOUBŘITÁ VÁLCOVÁ FRÉZA BEZ POVLAKU OD FIRMY WNT

Jedná se o tvrdokovovou frézu s úhlem stoupání šroubovice 55°. Tato fréza je vhodná pro obrábění mosazi ale i plastu.



Obr. 4 Válcová fréza bez povlaku od firmy WNT nástroje.

Tab. 5 Parametry frézy:

Průměr:	5 mm
Řezná délka:	25mm
Celková délka:	70 mm
Počet zubů:	2
Úhel stoupání šroubovice:	55°

4.1.2 DVOUBŘITÁ VÁLCOVÁ FRÉZA S DIAMANTOVÝM POVLAKEM OD FIRMY ARNO

Jedná se o tvrdokovovou frézu s diamantovým povlakem. Tato fréza je vhodná pro obrábění hliníku a hliníkových slitin.



Obr. 5 Válcová fréza s diamantovým povlakem od firmy ARNO.

Tab. 6 Parametry frézy:

Průměr:	5 mm
Řezná délka:	13mm
Celková délka:	50 mm
Počet zubů:	2
Úhel stoupání šroubovice:	45°

4.1.3 DVOUBŘITÁ VÁLCOVÁ FRÉZA S ROVNÝMI BŘITY OD FIRMY HOFFMANN GROUP

Jedná se o tvrdokovovou frézu s diamantovým povlakem a rovnými břity. Tato fréza je vhodná pro obrábění materiálu se skelnými nebo uhlíkovými vlákny



Obr. 6 Válcová fréza s rovnými břity od firmy Garant-Hoffmann group

Tab. 7 Parametry frézy:

Průměr:	5 mm
Řezná délka:	3mm
Celková délka:	60 mm
Počet zubů:	2

4.2 OBRÁBĚNÝ MATERIÁL

Jedná se o materiál SKLOTEXTI G 11-ČSN EN 60839-3-4, je to vrstvený materiál vyrobený z upravené skelné tkaniny a epoxidové živice s přídavkem plniva. Vyznačuje se vynikajícími mechanickými a elektroizolačními vlastnostmi, svoje mechanické vlastnosti si zachovává i při zvýšených teplotách. Barva desek je světle žlutá až světle zelená. Používá se na výrobu součástek s dobrými mechanickými a elektrotechnickými vlastnostmi, pro elektrická zařízení při vyšších teplotách nebo ve vlhkém prostředí, při namáhaných elektroizolačních součástkách jako kostry, tělesa přístrojů, skříňových částí rozvoden, transformátorů, rozvaděčů, elektrických strojů.[7]



Obr. 7 Neopracovaný materiál SKLOTEXTIT G11

Tab. 8 Mechanické vlastnosti SKLOTEXTITU G11

Hustota [g/cm ³]	Pevnost v ohybu [Mpa]	Pevnost v Tahu[MPa]	Odolnost proti štěpení [N]
1,65-1,85	350	240	3000

4.3 OBRÁBĚCÍ STROJ

Jedná se o 3-osé obráběcí centrum SCM RECORD 220, který za pomoci hliníkového vakuového stolu dokáže upnout materiál až o rozměru 1550x3250mm. Obráběcí stroj je vybaven řídicím systémem Alpha Cam.



Obr. 8 Tříosé obráběcí centrum SCM record 220

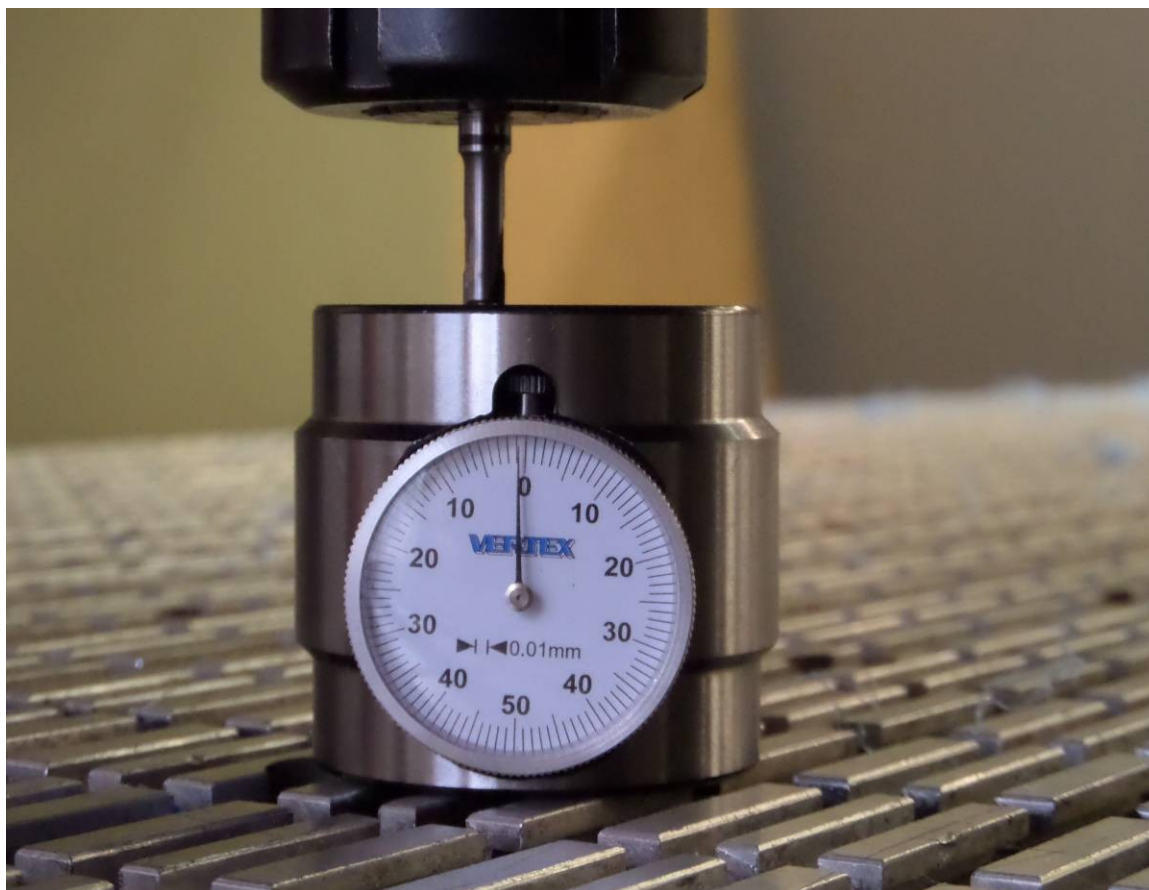
Tab. 9 Parametry stroje

Rozměry stroje	225x1250x3050
Váha stroje	7200Kg
Rozjezdy	320x1300x3250
Vzdálenost vřetene od stolu	320
Rychloposuv	45 m/min
Velikost stolu	1200x3120
Pracovní posuv	18 m/min
Kužel vřetena	ISO 30
Otáčky vřetene	Max 18 000 ot/min
Výkon motoru	7,5 kW
Zásobník nástrojů	12
Max. průměr nástroje	80 mm
Max. délka nástroje	200 mm

5. PRAKTICKÁ ČÁST

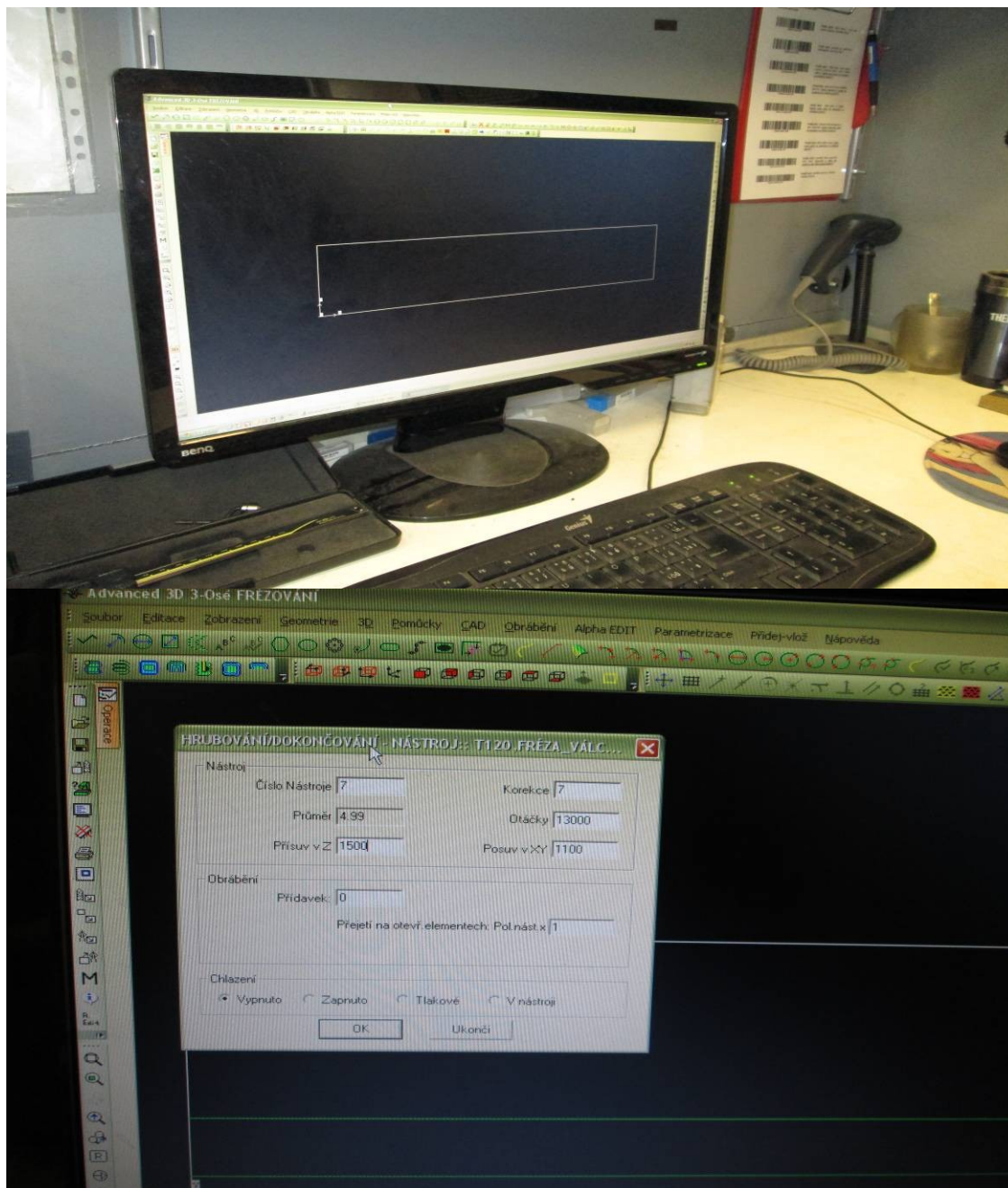
Elektroizolační materiály frézujeme pouze sousledným frézováním, tedy směr posuvu a otáček je shodný. Tím zamezíme vytrhávání jednotlivých vrstev vláken z matice.

Obráběný materiál SKLOTEXTIT G11 o rozměrech 12x100x500mm upneme na vakuový stůl frézky SCM RECORD 220. Testované nástroje vložíme do redukčního pouzdra, a následně vložíme do zásobníku na nástroje. Jednotlivé frézy jsou zaměřovány pomocí hodinek viz obr.9. Změřený údaj následně zapíšeme do tabulky nástrojů.



Obr. 9 Zaměřování nástroje pomocí hodinek

Po zaměření jednotlivých fréz se připraví jednoduchý program v řídicím systému Alpha cam, kde naprogramujeme frézování jednoduché drážky a nastavíme řezné podmínky. Jednorázově se nastaví otáčky na $n=13\,000$ ot/min, důvodem je limit otáček stroje. Podle potřeby budou otáčky následně sníženy ručním ovládáním. Hotový program nahrajeme do stroje a spustíme výrobu.

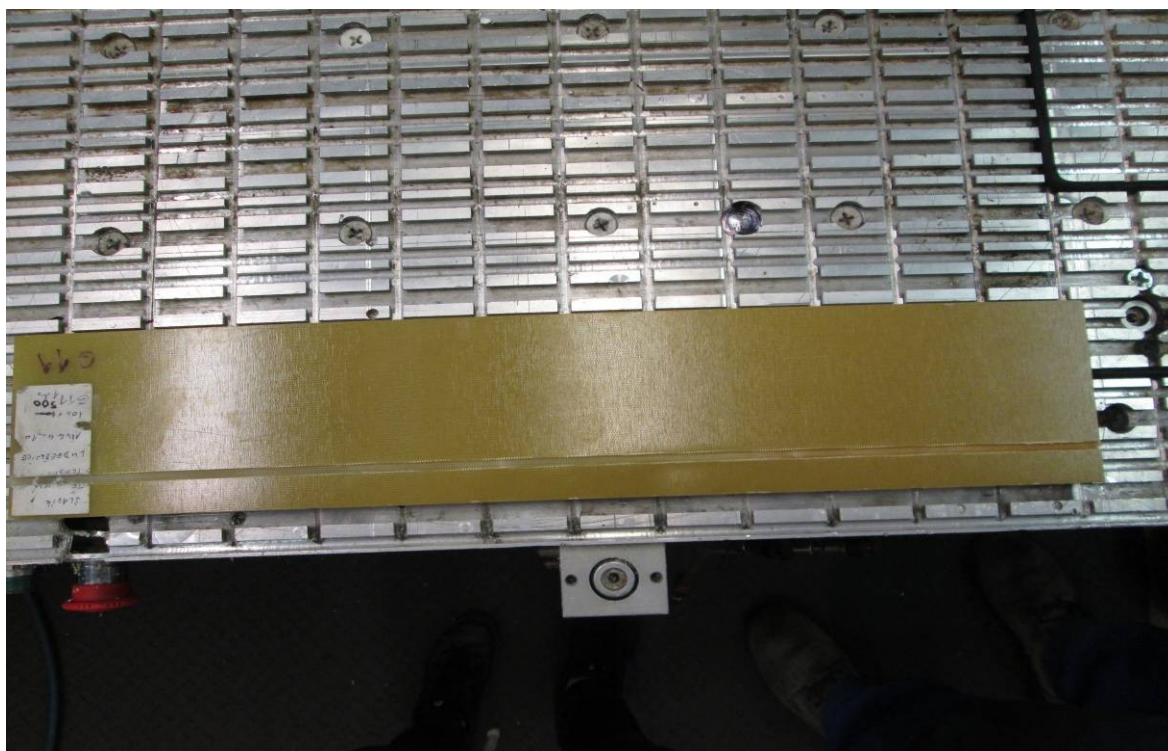


Obr. 10 Nastavení programu a řezných podmínek

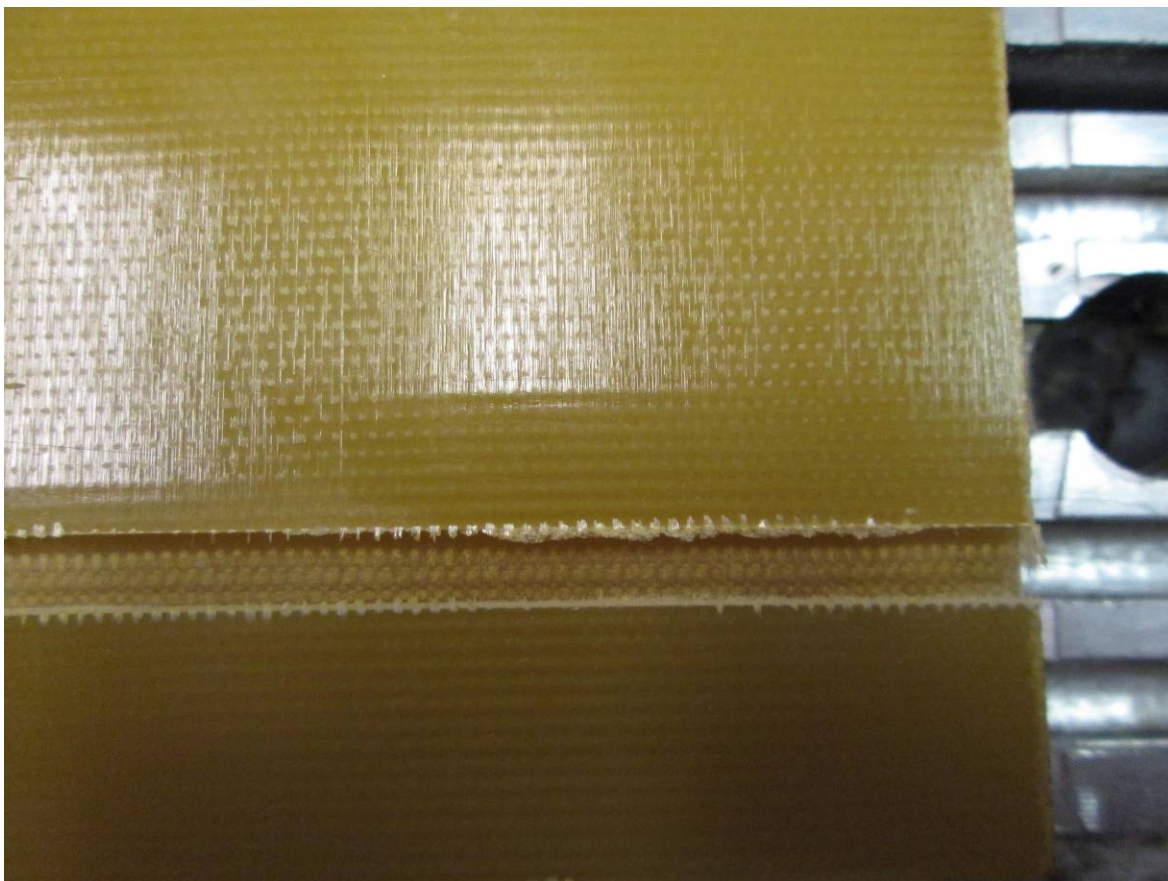
Jako první testovanou frézou bude válcová dvoubřitá fréza bez povlaku od firmy WNT. Na začátku frézování pomalu a jistě vidíme že dochází k pomalému otupení frézy. Z obr.11 je pak patrné, že při obrábění za daných řezných podmínek uvedených v Tab.10, došlo na konci frézované drážky ke spálení materiálů a k vytržení vláken z materiálu.

Tab. 10 Použité řezné parametry

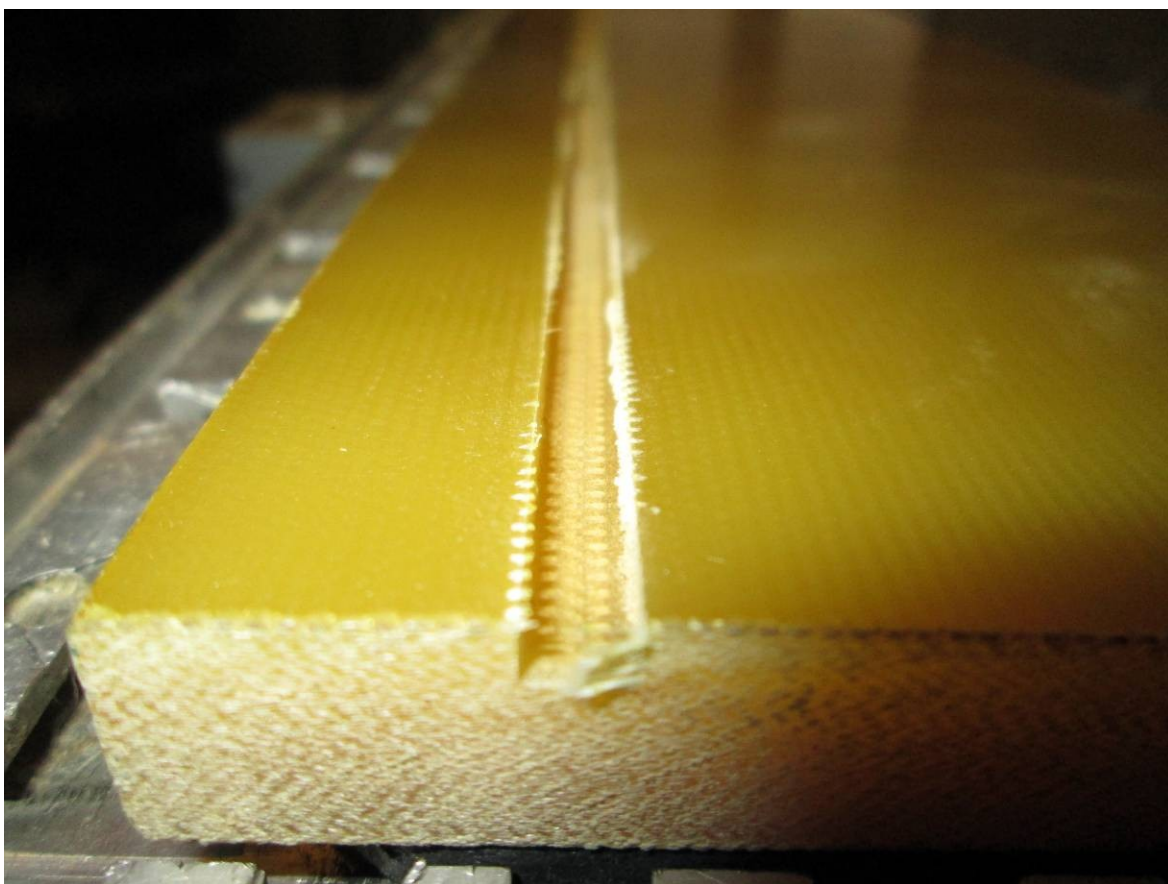
Dvoubřitá válcová fréza bez povlaku od firmy WNT	
Otáčky	$n=7600[\text{ot/min}]$
Řezná rychlost	$v_c=120[\text{m/min}]$
Posuv na otáčku	$f=0,032[\text{mm}]$
Frézována délka	$L=500[\text{mm}]$
Hloubka řezu	$a_p=3[\text{mm}]$



Obr. 11 Obrobený materiál frézou od firmy WNT



Obr. 12 Pohled na konec obrobené drážky



Obr. 13 Pohled na vytržené vlákna z drážky



Obr. 14 Vzhled válcové frézy od firmy WNT pro obrobení materiálu

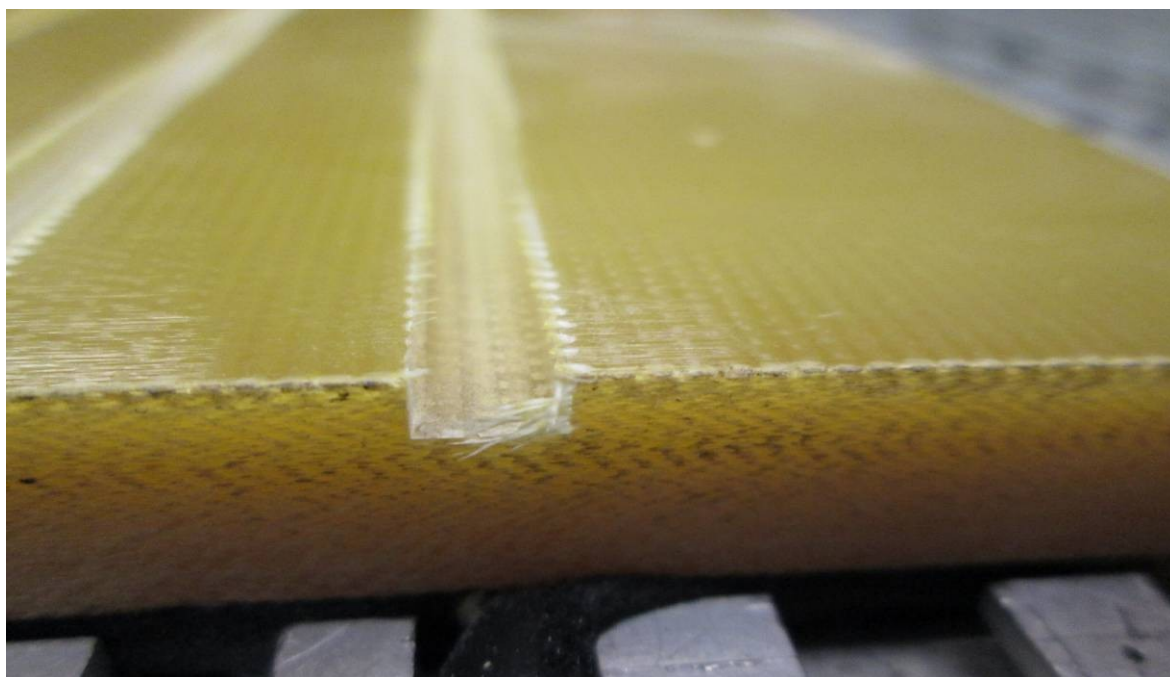
Jako druhým testovacím nástrojem bude Tvrdoková válcová fréza s diamantovým povlakem od firmy ARNO. Diamantový povlak by nám měl zaručit minimální otupení nástroje. Dle obr.15 vidíme, že u vyfrézované drážky nedošlo ke spálení materiálu, jak tomu bylo u předchozí nepovlakované frézy, a však vzhled obrobené drážky opět nedopadl dobře. Z obráběného materiálu vystupují vlákna, takový to jev nastává v případě otupení frézy nebo nesprávně nastavením řezných podmínek.

Tab. 11 Použité řezné parametry

Dvoubřítá válcová fréza s diamantovým povlakem od firmy ARNO	
Otáčky	$n=13\,000[\text{ot/min}]$
Řezná rychlost	$v_c=200[\text{m/min}]$
Posuv na otáčku	$f=0,08[\text{mm}]$
Frézována délka	$L=500[\text{mm}]$
Hloubka řezu	$a_p=3[\text{mm}]$



Obr. 15 Pohled na drážku obrobenou frézou od firmy ARNO



Obr. 16 Pohled na vytržená vlákna po frézování frézou od firmy ARNO



Obr. 17 Vzhled frézy po obrobení materiálu

Jako třetí a zároveň poslední testovanou frézou je dvoubřitá válcová fréza s diamantovým povlakem od firmy Hoffmann group s rovnými břity, které spolu se sousledným frézováním přitlačí obrobek lehce ke stolu a nemělo by dojít k vytržení vláken.

Na obr.16 můžeme vidět vyfrézovanou drážku, z které vyčnívají vytrhané vlákna ale vzhled drážky je čistší a hladší.

Tab. 12 Použité řezné parametry

Dvoubřitá válcová fréza s rovnými břity od firmy HOFFMANN GROUP	
Otáčky	$n=13\ 000\text{ot/min}$
Řezná rychlost	$v_c=200[\text{m/min}]$
Posuv na otáčku	$f=0,04[\text{mm}]$
Frézována délka	$L=500\text{mm}$
Hloubka řezu	$a_p=3\text{mm}$



Obr. 18 Vzhled vyfrézované drážky frézou od firmy HOFFMANN GROUP



Obr. 19 Vzhled válcové frézy od firmy HOFFMANN group po obrobení materiálu

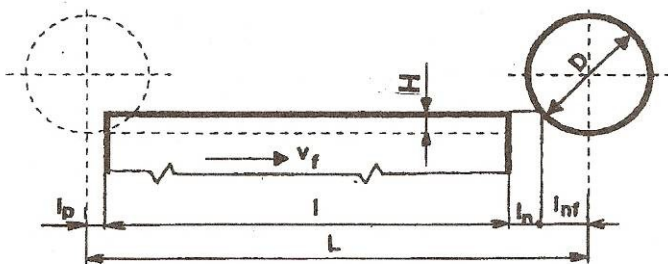
6. TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Pro obrábění elektroizolačního materiálu byly zakoupeny tři druhy fréz. V tab.13 jsou uvedené nákupní ceny za jednotlivé frézy.

Tab. 13 Ceny za nástroje

WNT	Obj.č: 54 590 052	582Kč
ARNO	Obj.č: AFD51520-050 DLC	591Kč
HOFFMANN GROUP	Obj.č: 209610-5	5 544Kč

Výpočet jednotkového strojního času :



$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} [\text{min}] \quad ; \quad v_f = f_z \cdot z \cdot n [\text{mm/min}]$$

L-dráha nástroje [mm]

v_f -posuvová rychlost

Pro válcové frézování:

$$L = l + l_n + l_p + l_{nf} \quad ; \quad l_{nf} = \sqrt{H(D - H)} \quad [9]$$

Tab. 14 Vypočtený strojní čas pro jednotlivé frézy

WNT	2,2 [min]
ARNO	0,5 [min]
HOFFMANN GROUP	0,5 [min]

Po ekonomické stránce se snažíme vybrat nástroj v poměru kvalita/cena. Z testu diplomové práce vyplývá, že nejlepších výsledků dosahovala dvoubřitá válcová fréza od firmy Hoffmann group. Vzhledem k minimálnímu objemu zakázek na elektroizolační materiál ve firmě SLAVÍK- Technické plasty, je tato fréza nevyhovující z důvodů její vysoké ceny. Zvážíme-li do budoucna výhody této frézy (kvalitně obrobený povrch, kratší čas výroby), doporučila bych tuto frézu pro málo-sériovou a velkosériovou výrobu, kde bude uplatněn poměr kvalita/cena.

Jedná-li se o kusovou výrobu, jako je tomu v našem případě, doporučila bych dvoubřitou válcovou frézu od firmy ARNO. Vzhledem k nízké ceně a kvalitě obrobeného materiálu je tato fréza dostačující pro obrábění elektroizolačních materiálů. V případě použití této frézy bude potřeba poupravit řezné podmínky tak, aby nedocházelo k vytrhávání vláken z materiálu.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo otestovat tři různé druhy fréz pro obrábění materiálu skupiny N-neželezné kovy, od různých firem. Frézy se testovali na elektroizolačním materiálu SKLOTEXTIT G 11 o rozměrech 12x100x500mm. Pro jednotlivé frézy byli zvolené řezné parametry tak jak uvádí jejich výrobce.

Celý test probíhal ve firmě Slavík-Technické plasty na stroji typu SCM RECORD 220, tento stroj je vybaven vakuovým stolem na který byl materiál upnut a následně obroben.

Frézy za daných řezných podmínek obráběly po celé délce materiálu, tedy po délce 500mm. Tato délka byla stanovená na základě obráběných podobných rozměru.

Nejprve byla hodnocená fréza od firmy WNT, jednalo se o válcovou dvoubřitou frézu bez povlaku se stoupáním šroubovice 55°. Tato fréza je vhodná pro obrábění mosazi a plastu. Tato fréza z testu dopadla nejhůře, kde při stanovených řezných podmínkách došla k brzkému otupení a následně k popálení materiálu.

Další testovanou frézou byla dvoubřitá válcová fréza s diamantovým povlakem a úhlem stoupání šroubovice 45° od firmy ARNO. Tato fréza je vhodná pro obrábění hliníku a hliníkových slitin. Tato fréza v testu obstála celkem dobře, po odfrézování drážky nedošlo ke spálení povrchu jak tomu bylo u předchozí frézy, zato po obrobení materiálu zůstaly vytrhané vlákna, které jsou pro nás nevyhovující.

Nakonec poslední testovanou frézou byla dvoubřitá fréza s rovnými břity od firmy HOFFMANN GROUP. Tato fréza je vhodná pro obrábění kompozitních materiálu s obsahem uhlíku a skelných vláknem. Testování frézy dopadlo na výbornou, nejenom že nebyl spálený povrch ale ani k vytržení vláken nedošlo tak znatelně. Obrábění touto frézou probíhalo bez jakýchkoliv komplikací. Bohužel z cenového hlediska je fréza pro nás nedostačující z důvodu minimálního objemu zakázek na obráběný materiál.

Po cenové stránce vyšla nejlépe druhá testovaná fréza od firmy ARNO, odladí-li se řezné podmínky pro obrábění elektroizolačních materiálu touto frézou, bude tato volba frézy jak z technického tak ekonomického hlediska vyhovující.

POUŽITÉ ZDROJE

- [1] GARANT. [i]Příručka obrábění. 841 s. ISBN 3-00-016882-6.
- [2] KŘÍŽ, Antonín ; KOŽMÍN, Pavel: Tenké vrstvy na řezných nástrojích v aplikaci obrábění plastů. Plzeň, r.2006
- [3] ŘASA, Jaroslav, GABRIEL, Vladimír. Strojírenská technologie 3: Metody, stroje a nástroje pro obrábění 1. vyd. Praha : Scientia, 2000. 2 sv. (256, 221 s.). ISBN 80-7183-207-3.
- [4] Lenfeld, Petr. Katedra tváření kovů a plastů - skripta. [Online] [Citace: 19. 5.2014.] http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/index.htm.
- [5] KIENINGER, A.; KÖLKER, W. Fräsen von Kunststoffen in Modell-und Designbau, [i]VDI-Z Special Werkzeug - und Formenbau, [i] 11/1998, s. 42-44. ISSN 0931-864X.
- [6] LABARA s.r.o. Informace [online]. [cit. 19.5.2014]. Dostupné na: <http://www.labara.cz/cs/vrstvene-izolanty/izolacni-desky/155-sklotextit-r-fr4>
- [7] LOYDA, M.; ŠPONER, V.; ONDRÁČEK, L.; BAREŠ, A, a kolektiv. Svařování termoplastů, Aktualizované druhé vydání, 2011, PRAHA, ISBN 978-80-904949-0-9
- [8] RAAB, M. Materiály a člověk (*Netradiční úvod do současné materiálové vědy*). 1. vyd. Praha: Encyklopedický dům, 1999. 228s. ISBN 80-86044-13-0.
- [9] KOCMAN, Karel., PROKOP, Jaroslav. *Technologie obrábění*. 1.vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270s. ISBN 80-214-3068-0.
- [10] <http://www.mmspektrum.com/clanek/nastroje-pro-obrabeni-kompozitnich-materialu.html>
- [11] JANČÁŘ, J. *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2003. 194 s. ISBN 80-214-2443-5.
- [12] FURBACHER, J. a kolektiv. *Lexikon technických materiálů-svazek 4. 1. vyd.* Praha: Verlag dashofer, 2001. ISBN 80-86229-02-5.
- [13] HUMÁR, A. *Obrábění vláknově vyztužených kompozitů. Teze přednášky k profesnímu jmenovacímu řízení v oboru Strojírenská technologie*. Brno: VUT-FS, Ústav strojírenské technologie, 2004. 26s. ISSN 1213-418X.

[14]SEDLÁČEK, Jan. *Problémy při obrábění kompozitních materiálů*. MM průmyslové spektrum. Duben 2007, č.4, s.66-67.ISSN 1212.2572.

[15] SEDLÁČEK, Jan. *Nástroje pro obrábění kompozitních materiálů*. MM Průmyslové spektrum. Červen 2006, č.6, s. 28-30.ISSN 1212-2572.

[16]FOREJT, M. PÍŠKA, M. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM. 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

Obr. 1 Výrobky z firmy SLAVÍK-Technické plasty.....	10
Obr. 2 Vzhled struktury polymeru	14
Obr. 3 Druhy kompozitů dle uspořádání výztuže[11]	16
Obr. 4 Válcová fréza bez povlaku od firmy WNT nástroje.....	26
Obr. 5 Válcová fréza s diamantovým povlakem od firmy ARNO.....	27
Obr. 6 Válcová fréza s rovnými břity od firmy Garant-Hoffmann group	28
Obr. 7 Neopracovaný materiál SKLOTEXTIT G11	29
Obr. 8 Třiosé obráběcí centrum SCM record 220.....	30
Obr. 9 Zaměřování nástroje pomocí hodinek	31
Obr. 10 Nastavení programu a řezných podmínek.....	32
Obr. 11 Obrobený materiál frézou od firmy WNT	33
Obr. 12 Pohled na konec obrobené drážky	34
Obr. 13 Pohled na vytržené vlákna z drážky	34
Obr. 14 Vzhled válcové frézy od firmy WNT pro obrobení materiálu	35
Obr. 15 Pohled na drážku obrobenou frézou od firmy ARNO	36
Obr. 16 Pohled na vytržená vlákna po frézování frézou od firmy ARNO	37
Obr. 17 Vzhled frézy po obrobení materiálu	37
Obr. 18 Vzhled vyfrézované drážky frézou od firmy HOFFMANN GROUP	38
Obr. 19 Vzhled válcové frézy od firmy HOFFMANN group po obrobení materiálu	39
Tab. 1 Převažující prvky v plastech	11
Tab. 2 Přehled řezných podmínek pro obrábění plastů[3].....	20
Tab. 3 Přehled řezných podmínek pro obrábění vyztužených a vrstvených plastů[3]	20
Tab. 4 Stanovené řezné podmínky	22
Tab. 5 Parametry frézy:	26
Tab. 6 Parametry frézy:	27
Tab. 7 Parametry frézy:	28
Tab. 8 Mechanické vlastnosti SKLOTEXTITU G11	29
Tab. 9 Parametry stroje.....	30
Tab. 10 Použité řezné parametry.....	33
Tab. 11 Použité řezné parametry.....	36
Tab. 12 Použité řezné parametry.....	38
Tab. 13 Ceny za nástroje	40
Tab. 14 Vypočtený strojní čas pro jednotlivé frézy	40
Diagram. 1 Základní rozdělení polymerů	12